

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДАМИ ХТО С ПОЛУЧЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ

Демин П.Е.

Руководители – проф., д.т.н. Петрова Л.Г., доц., к.т.н. Александров В.А.
МАДГТУ (МАДИ), каф. Металловедение и термообработки, г. Москва
metallovedenie@madi.ru

Разработанная нанотехнология ХТО с регулируемой насыщающей атмосферой представляет собой печное газовое азотирование с использованием катализатора. Насыщение происходит в многократно меняющейся атмосфере аммиака и воздуха. Процесс ХТО сопровождается созданием на поверхности неустойчивых нитридов меди, что приводит к повышению градиента концентраций азота между поверхностью (в нитриде) и приповерхностным слоем стали. Это позволяет значительно (на порядок) увеличить скорость роста диффузионного слоя. Технология предназначена для формирования композиционных покрытий на изделиях из хромистых сталей (40Х, 40ХН, 30ХМА, 30ХГСА, 35ХМ, 40Х13, 30Х13, 20Х13) с целью повышения их устойчивости в условиях износа, коррозии и термического воздействия. Технология заключается в проведении следующих стадий процесса ХТО:

1. *Подготовка поверхности* - формирование наноразмерной пленки чистой меди на поверхности стальной детали путем ее экспресс-обработки (до 50 с.) в растворе медного купороса.

2. *Формирование каталитического покрытия* - наноразмерной пленки оксида меди CuO путем обработки, заключающейся в выдержке изделий в печи при $585\ldots 590^\circ\text{C}$ с циклической подачей аммиака и воздуха. Этот процесс повторяется до достижения необходимой толщины каталитического покрытия, время окислительного процесса контролируется емкостным датчиком.

3. *Азотирование* - насыщение поверхностного слоя азотом с формированием зоны внутреннего азотирования путем скоростного (3 ч) азотирования в аммиаке при $585\ldots 590^\circ\text{C}$. Зона внутреннего азотирования представляет собой дисперсно-упрочненный диффузионный слой, состоящий из азотистого твердого раствора с выделениями наноразмерных нитридов легирующих элементов. По мере протекания процесса на поверхности происходит восстановление чистой меди из оксида водородом, образующимся при диссоциации аммиака. Далее процесс повторяется со второй стадии, происходит чередование 2-й и 3-й стадий до тех пор, пока не будет достигнута заданная толщина зоны внутреннего азотирования, что контролируется с помощью компьютерной программы.

4. *Охлаждение*. При достижении заданной толщины слоя, которая регулируется автоматически в зависимости от химического

состава стали, происходит охлаждение в атмосфере аммиака и выгрузка готовых изделий из печи.

В результате проведения ХТО на поверхности изделий из хромистых сталей образуется КОМПОЗИЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ, состоящее из нескольких слоев, каждый из которых выполняет свою функцию в условиях эксплуатации (рис. 1).

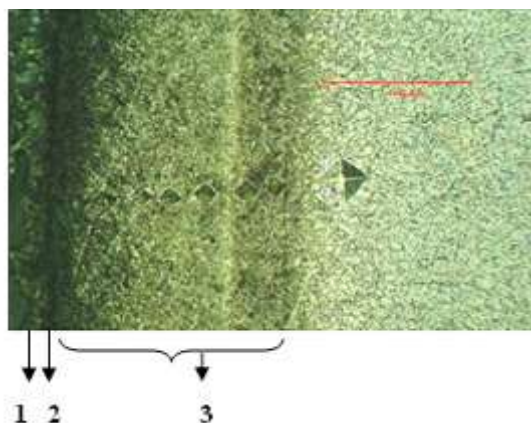


Рисунок 1. Микроструктура композиционного нанопокрывтия на стали 40X13: 1 – нанопорошок Fe_4N , 2 – нанопленка CuO , 3 – зона внутреннего азотирования

Верхний слой представляет собой тонкое мягкое покрытие нанопорошка нитрида железа Fe_4N , состоящего из частиц размером 25...75 нм (рис. 2,а), которое обеспечивает прирабатываемость поверхности детали в начальный период изнашивания. Ниже располагается каталитическая пленка оксида меди CuO толщиной 15...20 нм (рис. 2,б), защищающая изделия от коррозии в агрессивных средах. В глубине покрытия располагается зона внутреннего азотирования – протяженный слой (350 мкм), структура которого представляет собой металлическую матрицу (твердый раствор хрома и азота в α -железе) с регулярно распределенными в нем нанодисперсными (30...90 нм) частицами нитридов хрома CrN (рис. 2,в).

Каждый участок композиционного покрытия может быть классифицирован с точки зрения устоявшихся представлений о *наноструктурах* (рис. 1). Верхний слой, согласно этим представлениям представляет собой нуль-мерный наноматериал - *конгломерат нанокластеров*. Средний слой оксида меди – двумерный наноматериал - *нанопленка*. Глубинный слой с позиции наноструктур является объемным материалом (трехмерным), в котором сформировано регулярное расположение *наноразмерных частиц* (нитридов хрома).

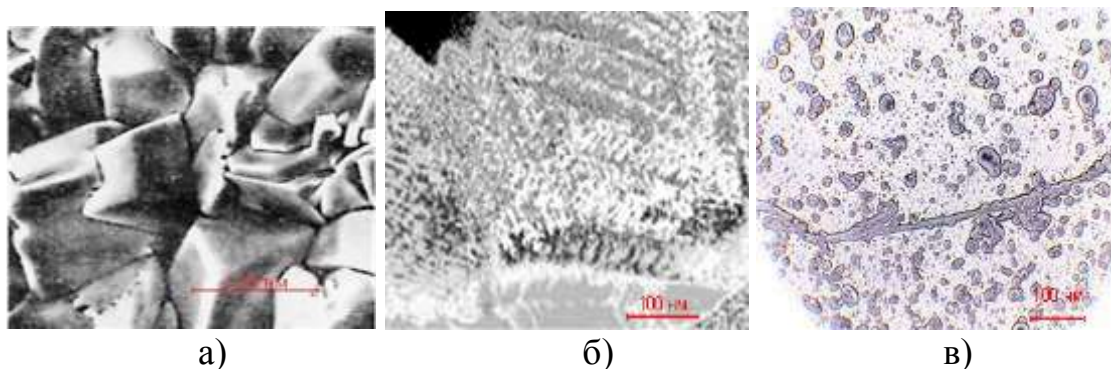


Рисунок 2. Микроструктуры отдельных участков композиционного покрытия: частицы нанопорошка нитридов железа (а), нанопленка оксида меди (б), наночастицы нитридов хрома в зоне внутреннего азотирования (в); сканирующий микроскоп HITACHI S-800 с рентгеновским микроанализатором INCAx – act

Обработанные образцы хромистых сталей прошли лабораторные испытания на твердость, износостойкость, и стойкость к электрохимической и газовой коррозии. Испытания показали, что покрытия характеризуются повышенной микротвердостью, равномерно распределенной по толщине диффузионного слоя. Износостойкость покрытий существенно превосходит сопротивление изнашиванию необработанных сталей (рис. 3), а также сталей для аналогичных изделий, упрочненных традиционными методами химико-термической обработки, более чем в 2 раза увеличивается коррозионная стойкость в среде пластовой жидкости при бурении на нефть.

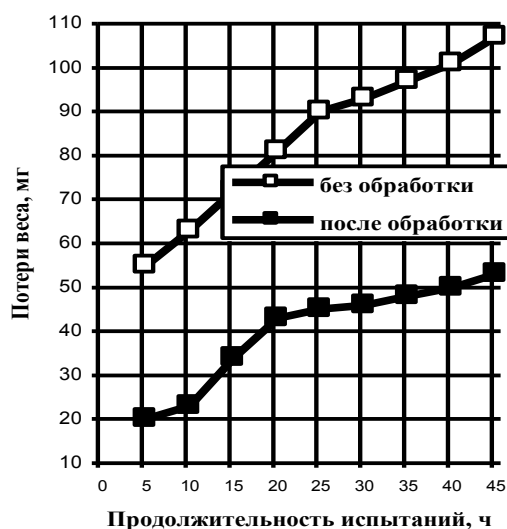


Рисунок 3. Результаты испытаний на износ по потере веса образцов стали 20X13 в исходном состоянии и после обработки по нанотехнологии химико-термической обработки